



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 102 23 127 C 1

51 Int. Cl. 7:  
B 01 D 57/02  
C 12 N 15/87  
G 01 N 27/26

21 Aktenzeichen: 102 23 127.3-45  
22 Anmeldetag: 24. 5. 2002  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 2. 10. 2003

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

74 Vertreter:

Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,  
50667 Köln

72 Erfinder:

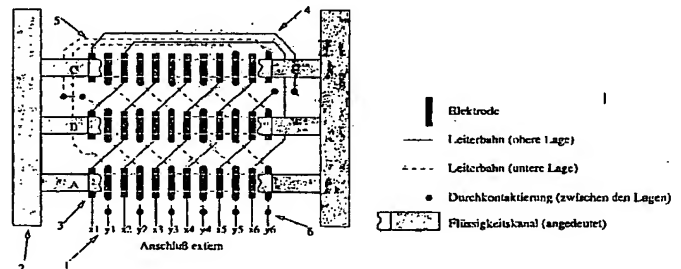
Tangen, Uwe, Dr., 53639 Königswinter, DE; Maeke,  
Thomas, Dipl.-Ing., 53229 Bonn, DE; McCaskill,  
John Simpson, Dr., 53229 Bonn, DE; Fuchslin,  
Ruedi, Dr., 53111 Bonn, DE; Mathis, Harald, Dr.,  
53173 Bonn, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 36 87 975 T2  
WO 89 07 261 A1

54 Elektrisches Mikrofluidik-Multiplex-System und dessen Verwendung

57 Das elektrische Mikrofluidik-Multiplex-System ist mit  
mindestens einem Kanal für Flüssigkeitsströme verse-  
hen, der mittels elektrischer Felder zu manipulierende  
und insbesondere zu transportierende Moleküle, insbe-  
sondere Biomoleküle, Molekülkomplexe oder Mikroparti-  
kel, aufweist. Ferner weist das Mikrofluidik-System eine  
Vielzahl von Elektroden, die entlang des mindestens ei-  
nen Kanals einzeln oder in Gruppen aufeinander folgend  
angeordnet sind, und eine Ansteuerelektronik mit mehr-  
eren Ausgängen für an die Elektroden anzulegende Steuer-  
signale auf. Die Elektroden sind in Gruppen unterteilt.  
Jede Gruppe ist einem Ausgang der Ansteuerelektronik  
zugeordnet. Die Elektroden jeder Gruppe sind galvanisch  
untereinander verbunden und an dem jeweils zugeordne-  
ten Ausgang der Ansteuerelektronik angeschlossen. Die  
untereinander verbundenen Elektroden jeweils zweier  
Gruppen sind derart positioniert, dass mit Ausnahme  
mindestens einer Elektrode der einen Gruppe sämtliche  
Elektroden dieser Gruppe jeweils einen derart großen Ab-  
stand von den Elektroden der anderen Gruppe aufweisen,  
dass bei Anlegen von Steuersignalen an die beiden Grup-  
pen von Elektroden ausschließlich zwischen den jeweili-  
gen mindestens einen Elektroden beider Gruppen mit mi-  
nimalen Abstand ein für eine Manipulation eines Mole-  
küls oder Molekülkomplexes ausreichendes elektrisches  
Feld aufbaubar ist.



DE 102 23 127 C 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 102 23 127 C 1

## Beschreibung

## Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die Erfindung beschreibt ein Gerät (engl. "Device") und mehrere Verfahren zur massiv parallelen elektrisch steuerbaren Verarbeitung von Molekülen (speziell Biopolymeren) in einem integrierten mikrostrukturierten Hybridbaustein (Kombination von Mikrofluidik und Mikroelektronik). Die Steuerung erfolgt über Elektroden durch die bekannte elektrophoretische Drift von Molekülen in einem elektrischen Feld. Diese Lenkung ist jedoch so gestaltet, dass die aktive Steuerung der Molekülbewegung in verschiedenen Einheiten (z. B. Kanälen) der Mikrofluidik hochparallel unabhängig voneinander erfolgen kann.

[0002] Damit eröffnen sich neue Wege bei Aufgabenstellungen mit hohem Probendurchsatz und/oder vielen wahlweise benutzten Verarbeitungsschritten. Anwendungsgebiete sind die Biochemie und Molekularbiologie, die molekulare Diagnostik, die Synthese und Analyse von neuen Wirkstoffen und die biomolekulare Informationsverarbeitung. Typische Anwendungen finden sich in der Pharma-Industrie, der Laborautomatisierung, der klinischen Diagnostik, der Verfahrens- und Umwelttechnik, der evolutiven Biotechnologie und der adaptiven Nanotechnologie.

## Stand der Technik, Nachteile des Standes der Technik

[0003] Die elektrische Transportsteuerung von Biomolekülen durch eine moderate Anzahl von Elektroden (< 1000) gehört zum aktuellen Stand der Technik. Vor allem in der Elektrophorese (z. B. die Gelelektrophorese und die Kapillarelektrophorese) werden erheblich weniger Elektroden individuell und analog angesteuert, inklusive Spannungs- oder Stromüberwachung. In Mikrostrukturen begrenzt Elektrolyse durch Gasbildung den maximal einsetzbaren Potentialwert an den Elektroden. Der Einsatz von Gelen, wegen einer besseren Diskriminierung beim Transport, ist problematisch wegen begrenzter Wiederverwendbarkeit und Kreuzkontamination.

[0004] Die Wirkung von Elektroden auf den Transport von Biomolekülen ist wegen Abschirmung durch freie Ladungsträger in der Lösung stark beeinflusst. Legt man zwischen die Elektroden in einer Lösung ein elektrisches Feld an, so bildet sich in Gegenwart geladener Teilchen eine elektrische Doppelschicht aus, die je nach Teilchenart und -konzentration mehr oder weniger ausgedehnt und feststehend ist. Man unterscheidet zwischen starrer und diffuser Doppelschicht. Bei hoher Konzentration vor allem starker Elektrolyte kommt es zur starken Abschirmung der Elektroden und dadurch zu einer erheblich Verringerung des Feldes im Inneren der Lösung, so dass dessen Wirkung auf Teilchen (z. B. zum Zwecke des Transports derselben) stark reduziert ist. Genaugenommen gelten aber diese Prozesse nur für den Gleichgewichtsfall, d. h. alle Teilchen haben sich ausgerichtet und es gibt einen nennenswerten Durchtritt (Austauschstromdichte) durch die Doppelschichten. Obwohl solche kinetischen Effekte Forschungsgegenstand sind, bleibt ihre positive Ausnutzung als Teil eines dynamisch elektrischen Steuersystems ungenutzt.

[0005] Einige der heutigen Mikroreaktoren nutzen bereits elektrische Felder um Moleküle an bestimmte Ort zu bringen (DNA-Chips), bzw. diese daran zu hindern von einem Ort weg zu diffundieren. Diese Orte werden bereits vor dem Einsatz mittels bestimmter Substanzen, z. B. kurzer DNA-Stränge belegt, um auf Grund der Ortsinformation Schlüsse über die in der Flüssigkeit vorhandenen Stoffe zu bekommen. Aktive Bewegung von Molekülen in Lösungen sind

beschrieben (z. B. Fuhr), aber bis jetzt in dieser Form noch nicht wirtschaftlich einsetzbar. Im Bereich der Elektrophorese in Mikrostrukturen gibt es viele Anstrengungen Molekülmischungen durch die behinderte Bewegung in Gelen aufzutrennen und damit bestimmte gesuchte Moleküle einer weiteren Bearbeitung verfügbar zu machen: hier werden die parallel geschalteten Reaktoren aber nicht individuell gesteuert. Weitere beschriebene Einsätze elektrischer Felder beziehen sich auf Elektroporation und die Sortierung von Zellen. In allen diesen Beispielen wird nur eine stark begrenzte Parallelität der Steuerung erreicht.

[0006] M. Heller beschreibt elektrisch konfigurierbare DNA Chips mit elektrisch verbesserter Moleküldiskriminierung. Nachteile dieser DNA-Chips sind außer der geringen Elektrodenanzahl die begrenzte Lebensdauer der beschichteten Elektroden. Nachteile bei den bisher im Fluss aktiv bewegten Molekül-Prozessen sind auch die kleine Anzahl der Elektroden, typischerweise kleiner 100. Diese kleinen Zahlen resultieren daher, dass diese Elektroden mit genau eingestellten analogen Spannungspotentialen belegt werden, um a) eine optimale Traktion der Moleküle zu ermöglichen und b) die Bildung von Gasen durch Elektrolyse zu verhindern. Die dafür verwendeten Potentiostaten sind teuer und groß.

[0007] Neuere Versuche integrierter Elektronik für die Sensorik und Steuerung von BioChips zu verwenden (z. B. Infineon), sind durch die notwendigen komplexen Schaltkreise teuer und auch deshalb noch nicht so hochparallel wie in der Biotechnologie nötig.

## Aufgabe

[0008] Eine Aufgabe der Erfindung ist es, mit einer begrenzten Anzahl von Ansteuerleitungen eine wesentlich größere Zahl von Elektroden zwecks massiv-paralleler Steuerung von Molekülen in Mikrofluidik-Reaktionssystemen ansteuern zu können.

## Lösung

[0009] Zur Lösung dieser Aufgabe wird mit der Erfindung ein Mikrofluidik-System gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Erfindungsgemäß wird also eine besondere Art der Anordnung von untereinander elektrisch verbundenen Elektroden vorgeschlagen, wobei jeder Gruppe von derartig untereinander verbundenen Elektroden ein Ausgang der Ansteuerungselektronik zugeordnet ist. Wird nun an diesem Ausgang ein Steuersignal ausgegeben, so liegt dieses an sämtlichen Elektroden dieser Gruppe an. Die Anordnung der Elektroden jeweils zweier Gruppen ist nun derart gewählt, dass beide Gruppen zusammen über mindestens ein Elektrodenpaar verfügen, bei der Abstand der Elektroden minimal ist. Werden nun beide Gruppen von Elektroden mit Steuersignalen beaufschlagt, so kommt es zwischen den Elektroden des zuvor besagten Elektrodenpaares zu einem elektrischen Feld, das eine ausreichende Stärke aufweist, um die gewünschte Manipulation (beispielsweise den Transport eines Moleküls) zu verursachen. Mit anderen Worten sind also bei Betrachtung zweier Elektroden zweier beliebiger Elektrodengruppen diese beiden Elektroden derart relativ zueinander positioniert, dass es bei Anlegen einer Spannung zu einem wesentlichen elektrischen Effekt kommt. Für all die anderen Elektrodenpaare dieser beiden Gruppen von Elektroden gilt, dass dann, wenn der Abstand der Elektroden der jeweiligen Paare größer ist als der Minimalabstand, das elektrische Feld lediglich eine Stärke aufweist, die zur Durchführung einer Manipulation nicht geeignet

net ist.

[0011] Durch geeignete Wahl der Flüssigkeitszusammensetzung (insbesondere die Ionen in der Flüssigkeit sind entscheidend) kann erreicht werden, dass sich das elektrische Feld in der Flüssigkeit lediglich zeitverzögert abbaut. D. h., das elektrische Feld besteht noch für eine gewisse Zeit nach Abschaltung der Steuersignale fort. Die Folge, mit denen die impulsförmigen Steuersignale an unterschiedlichen Ausgängen der Ansteuer Elektronik aufeinander folgen, kann nun kürzer als die Relaxationszeit des elektrischen Feldes gewählt werden. Auf diese Weise entsteht eine zeitgenmultiplexte Ansteuer einzelner Elektrodenpaare und somit eine quasi parallele Manipulation mehrerer Moleküle innerhalb des Mikrofluidik-Systems, wodurch insgesamt eine (bei entsprechender Skalierung) größere Mengen von Molekülen eines oder mehrerer Typen massiv parallel gesteuert werden kann.

#### Grundzüge des Lösungsweges

##### a) Digitalspannung

[0012] Der Ausgang eines digitalen Bausteins kann in der Regel nur die drei Zustände 0, 1, tristate  $\rightarrow$  Z, also etwa 0 Volt, 3,3 oder 5 Volt ( $V_{cc}$ ) oder hochohmig (inaktiv) annehmen. Die Ansteuerung eines Elektrodenpaares in einer Lösung mit geladenen Molekülen stellt jedoch elektrisch gesehen eine Anordnung aus zumindest Widerständen (die Leitung erfolgt mittels in der Flüssigkeit vorhandener Ladungsträger, in der Regel Ionen) und Kondensatoren (es können sich lokale Grenzschichten aufbauen, die dann die schon vorhandenen Kapazitäten zusätzlich noch erhöhen) dar. Diese Tatsache führt dazu, dass durch das zeitlich richtige Ein- und Ausschalten der digitalen Ausgänge an den Elektroden quasi jede gewünschte Spannung zur Steuerung der Moleküle einstellbar ist (Tiefpassverhalten, D/A-Wandler). Durch Ausnutzen dieses Effektes reduziert sich der technische Aufwand zur Ansteuerung um ein Wesentliches. Das real wirkende elektrische Feld zwischen zwei derart angesteuerten Elektroden kann also in Stärke und Richtung nahezu beliebig zwischen null und dem Maximum variieren. Dementsprechend ist auch die Wirkung des Feldes auf die Moleküle nahezu beliebig einstellbar.

##### b)

[0013] Auf Grund der Eigenladung der Moleküle bzw. der anhaftenden Ladungsträger sind die Kräfte die auf diese Moleküle ausgeübt werden können umso größer, je größer die von den Molekülen wahrgenommenen Feldstärken sind. Die maximalen Feldstärken sind allerdings durch die Trennung von Wassermolekülen in seine Bestandteil begrenzt. Allerdings ermöglichen pulsierende Felder (das eigentliche Feld liegt nur kurze Zeit an den Elektroden an) die Moleküle trotzdem mit höheren Feldstärken anzutreiben. Das Tastverhältnis (duty-cycle) ist einstellbar. Dadurch wird bei entsprechender Einstellung eine Gasblasenbildung an den Elektroden vermieden. Das auf Grund von Elektrolyse doch noch entstehende Gas hat Zeit, von den Elektroden in die Lösung abzuwandern und stört nicht weiter. Für die Konstruktion der Elektrodengeometrien haben dabei die Inhomogenitäten, die an den Kanten der Elektroden entstehen, den positiven Effekt, dass die Spannungen sehr klein und damit im Bereich der durch heutige Digitaltechnik gegebenen Spannungsniveaus von  $V_{cc}$  bleiben können.

##### c) 2-dimensionaler Elektrodenzeitmultiplex

[0014] Durch die Verwendung hochintegrierter kommerzieller Digitalbausteine mit mehreren hundert Ausgangstreibern (n Ausgangstreibern) wird es nun möglich, Elektrodenbündel in der Größenordnung von  $n^2$  unabhängig voneinander anzusteuern und damit mehrere tausend Reaktionskammern willkürlich mit Molekülen zu versorgen, bzw. diese aus den Reaktionskammern zu entfernen. Dabei spielt es keine Rolle, ob diese Reaktionskammern als räumliche Kammern ausgebildet sind oder nur räumlich-temporär in sich bewegenden Flüssigkeitsströmen entstehen. Auf Grund der sich ausbildenden ionischen Doppelschichten und der damit verbundenen Feldabschirmungen ist es möglich, die Elektrodenansteuerungen zeitlich so zu verschachteln (ähnlich den Ringkernspeichern aus den frühen Jahren der Computertechnik), dass mehrere tausend Elektroden betrieben werden können, obwohl nur ein paar hundert aktive Treiber von Digitalbausteinen vorhanden sind. Für ein  $100 \times 100$  Feld von Elektroden werden mit dieser Methode lediglich 200 aktive getriebene Leitungen benötigt. Lediglich dort, wo Elektroden zweier Elektrodenreihenschaltungen, die an zwei unterschiedlichen Treiberausgängen angeschlossen sind, nahe benachbart zueinander angeordnet sind (für jeweils zwei Elektrodenreihenschaltungen existiert diese Situation zumindest für ein Elektrodenpaar), sind die Felder (z. B. auf Grund der Inhomogenitäten an den Kanten der Elektroden) stark genug, um die dort lokal sich befindenden Moleküle zu bewegen. Die Relaxationszeit der Doppelschicht kann je nach Pufferlösung im Bereich von Millisekunden liegen. Dann erst ist das Elektrodenpotential abgebaut bzw. aufgebaut. Folglich können innerhalb solcher Zeiten andere Elektroden für Teilchentransport oder -manipulation angesprochen werden (Multiplexing). Die in Lösung befindlichen Teilchensorten des Puffers werden dabei der Aufgabe entsprechend zusammengestellt.

##### d) Direkte Integration von Logikelementen unter die Elektroden

[0015] Je nach Vorhandensein der Technologie bzw. ausreichend niedriger Kosten, können die Ausgangstreiber der digitalen Bausteine direkt in das Trägermaterial integriert werden. Dies liegt besonders dann nahe, wenn Silizium als Trägermaterial verwendet wird. Die für die zusätzliche Logik inklusive der entsprechenden Treiber notwendige Siliziumfläche kann bequem unter den Elektroden bereitgestellt werden. Mittels ausgefeilter Bustopologien und Mischhierarchien, z. B. eine kleine Fläche wird mit dem oben beschriebenden Multiplexverfahren angesteuert und viele dieser kleinen Flächen werden auf dem ganzen Modul verteilt, kann der Integrationsgrad sogar noch weiter gesteigert werden. Allerdings muss damit gerechnet werden, dass diese mikrostrukturierten Bioreaktoren Wegwerfartikel sind und von daher in der Herstellung kostengünstig sein sollten.

##### Verbesserungen und Vorteile gegenüber dem Stand der Technik

[0016] Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile beziehen sich auf die nun mögliche massiv-parallele Integration tausender von Elektroden und damit die Verfügbarmachung kombinatorischer Vielfalt bei den Reaktionswegen. Erstens erlaubt die beschriebene Erfindung, innerhalb eines Mikrofluidik-Systems eine Vielzahl ( $10^3$ – $10^6$ ) verschiedener Reaktionen oder Trennverfahren parallel und unabhängig voneinander gesteuert zu fahren. Außer für diese direkte massiv-parallele Reaktionssteuerung, kann die hochparallele

Elektrodensteuerung genutzt werden, um ein Mikrofluidik-System für verschiedene Zwecke zu konfigurieren, d. h. zu programmieren. Weiterhin muss die gewünschte Molekülverarbeitung nicht im voraus bekannt und nicht für alle Proben gleich sein, sondern kann von Zwischenresultaten abhängig gemacht werden. Durch den nun möglichen Aufbau von Tausenden unabhängig gesteuerter Elektroden ergeben sich neue Anwendungsfelder chemischer oder biochemischer Reaktionssysteme, z. B. in der Analytik und Wirkstoffsynthese. Diese Vielfalt von Reaktionswegen kann unter klassischen Bedingungen in Mikrostrukturen nicht realisiert werden, da eine individuelle Flusssteuerung auf Grund der dafür notwendigen vergleichsweise großen Ventile nicht möglich ist. Durch diese massive Parallelität wird Biochemie programmierbar und sämtliche Werkzeuge der Informatik (z. B. Datenflussarchitekturen) werden auch für direkte chemische Umsetzung nutzbar.

1. Man arbeitet mit individuell gepulsten "digitalen Feldern".
2. Die Puls- und Tastverhältnisse lassen sich an die Teilchensorten anpassen, so dass "elektrische Filter" und "Verstärker" herstellbar sind, die es erlauben, bestimmte Teilchenarten bevorzugt zu transportieren.
3. Die Felder lassen sich je nach Elektrodendesign und Feldstärke sehr inhomogen gestalten, so dass auch Moleküle mit überwiegenden Dipoleigenschaften transportiert und manipuliert werden können.
4. Dauer, Frequenzen und Tastverhältnisse der angelegten Digitalpotentiale erlauben nicht nur das Vermeiden von Elektrolyseerscheinungen an den Elektroden, sondern auch den o. g. Multiplexbetrieb, und zwar auf Grund des Relaxationsverhaltens von mobilen Ladungsträgern in der Lösung.

#### Ausführungsbeispiel

[0017] In Fig. 1, linker Teil, ist eine Matrix mit jeweils sechs Leiterbahnen in x- und y-Richtung gezeigt ( $x_1$ - $x_6$  und  $y_1$ - $y_6$ ). Diagonal über die damit angesteuerten 36 Elektroden können Flüssigkeitskanäle gelegt werden. Die Elektroden werden mit Rechteckimpulsen belegt. Mehrere im Flüssigkeitskanal verteilte Referenzelektroden werden mit einer höherfrequenten Rechteckspannung belegt, die dergestalt ist, dass das mittlere Spannungsniveau z. B. genau bei  $V_{cc}/2$  eingestellt wird. Durch diese Arbeitspunkteinstellung ist es möglich, mit nur zwei Spannungen (0V und  $V_{cc}$ ) verschiedene Differenzspannungen zu erzeugen. Durch geschickte Abfolge der Impulse ist es so möglich, geladene Moleküle gezielt durch An- und Abstoßung zu bewegen. Rechts ist eine mögliche Impulsfolge gezeigt, mit der die Elektroden einzelne angesteuert werden können. Wie schon oben angedeutet spielt das elektrische Verhalten der Flüssigkeiten in der Mikrostruktur eine entscheidende Rolle bei der Ausnutzung der Relaxationseigenschaften der ionischen Doppelschichten (ca. 10–20 ms). Ohne diese Doppelschichten liegen die typischen Relaxationszeiten im Nanosekundenbereich und sind damit zu kurz für die Ausnutzung des Effektes.

[0018] Eine mögliche Realisierung des oben gezeigten zweidimensionalen Arrays ist in Fig. 2 dargestellt. Die Elektroden sind diagonal verbunden, um waagrechte und vertikale Kanalstrukturen zu erlauben. Die Elektrodenverbindungen sind derart konstruiert, dass Elektroden, wenn sie nicht direkt benachbart sind, mindestens vier Elektroden auseinander liegen. Die Felder, die dann über die vier Elektroden hinweg wirken, können auf Grund der starken Ab-

nahme der Feldstärken vernachlässigt werden. Zusätzlich kann durch eine geschickte Ansteuerung in vielen Fällen erreicht werden, dass selbst die entfernter liegenden Elektrodenpaare zwar aktiv sind, aber auf Grund fehlender Moleküle keinerlei Einfluss haben. Trotzdem muss natürlich gesagt werden, dass die sinnvolle Anzahl gleichzeitig aktiver Elektrodenpaare sehr viel kleiner als  $x \cdot y$  sein muss, da sonst die Kräfte die auf die Biomoleküle integral ausgeübt werden können, zu klein werden.

- 5 [0019] Das in Fig. 2 gezeigte Design setzt allerdings voraus, dass es möglich ist, eine zweilagige Leiterbahnführung zu gewähren. Es spielt keine Rolle, ob diese beiden Lagen auf ein und derselben Seite des Grundmaterials (z. B. Silizium) ist oder auf jeder Seite eine Lage mit den entsprechenden Durchkontaktierungen vorhanden ist. Für den Fall, dass nur eine einlagige Leiterbahnführung möglich ist, ist in Fig. 3 ein Testbeispiel dargestellt. Allerdings leidet die Skalierbarkeit erheblich mit dieser Beschränkung auf einlagige Leiterbahnführung und ist sinnvoll nur in einer Dimension durchführbar.

#### Patentansprüche

1. Elektrisches Mikrofluidik-Multiplex-System mit mindestens einem Kanal für Flüssigkeitsströme, der mittels elektrischer Felder zu manipulierende und insbesondere zu transportierende Moleküle, insbesondere Biomoleküle, Molekülkomplexe oder Mikropartikel aufweist, einer Vielzahl von Elektroden, die entlang des mindestens einen Kanals einzeln oder in Gruppen aufeinander folgend angeordnet sind, einer Ansteuerelektronik mit mehreren Ausgängen für an die Elektroden anzulegende Steuersignale, wobei die Elektroden in Gruppen unterteilt sind, jede Gruppe einem Ausgang der Ansteuerelektronik zugeordnet ist, die Elektroden jeder Gruppe galvanisch untereinander verbunden und an dem jeweils zugeordneten Ausgang der Ansteuerelektronik angeschlossen sind, die untereinander verbundenen Elektroden jeweils zweier Gruppen derart positioniert sind, dass mit Ausnahme mindestens einer Elektrode der einen Gruppe sämtliche Elektroden dieser Gruppe jeweils einen derart großen Abstand von den Elektroden der anderen Gruppe aufweisen, dass bei Anlegen von Steuersignalen an die beiden Gruppen von Elektroden ausschließlich zwischen den jeweiligen mindestens einen Elektroden beider Gruppen mit minimalem Abstand ein für eine Manipulation eines Moleküls, Molekülkomplexes oder Mikropartikels ausreichendes elektrisches Feld aufbaubar ist, und die Steuersignale Impulssignale sind und dass die Aufeinanderfolge der Impulse der Steuersignale an unterschiedlichen Ausgängen in der Regel kleiner als die Relaxationszeit des Abbaus des elektrischen Feldes in der Flüssigkeit zwischen zwei Elektroden ist.
2. Elektrisches Mikrofluidik-Multiplex-System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass während der Dauer des Anlegens von Steuersignalen an die Elektroden zweier Gruppen an die Elektroden derjenigen weiteren Gruppe, zu der eine Elektrode gehört, welche zwischen zwei jeweils den beiden anderen Gruppen zugeordnete Elektroden positioniert ist, mindestens ein weiteres Steuersignal anlegbar ist, dass eine unerwünschte Wechselwirkung dieser beiden Elektroden, zwischen denen die Elektrode der weiteren Gruppe positioniert ist, unterdrückt wird.

3. Elektrisches Mikrofluidik-Multiplex-System nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden der einzelnen Gruppen untereinander in Reihe und/oder parallel oder teilweise in Reihe und/oder parallel geschaltet sind. 5
4. Elektrisches Mikrofluidik-Multiplex-System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass auf elektrischem Wege rekonfigurierbare Mikrofluidiknetzwerke implementierbar sind.
5. Verwendung des Systems nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit diskreten vorgegebenen Pulsfolgen auf die Elektroden zur Emulation kontinuierlicher Spannungswerte mittels der spezifischen elektrochemischen Gegebenheiten in einer Mikrofluidikstruktur. 10
6. Verwendung nach Anspruch 5, wobei die Relaxationszeiten von Ionen-Bewegungen und Polarisationsereignisse in der Lösung elektrisch mitbenutzt werden. 15
7. Verwendung des Systems nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit diskreten vorgegebenen Pulsfolgen auf geeignet angebrachten Elektroden zur Erzeugung von durch elektrische Felder gegebenen, gegen Molekülein- oder -ausfluss geschützten Reaktionsbereichen in der Mikrofluidikstruktur. 20
8. Verwendung des Systems nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zur Etablierung von Molekülfiltren, selektiven Sperren, etc. unter Ausnutzung der verschiedenartigen Reaktion unterschiedlicher Molekültypen auf elektrische Felder. 25
9. Verwendung des Systems nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit der Elektroden in der Mikrofluidikstruktur gegen elektrochemische Prozesse. 30
10. Verwendung des Systems nach einem der Ansprüche 1 bis 4 für den Aufbau von Molekulardiagnostiksystemen, die Steuerung der automatischen Suche nach pharmazeutischen Wirkstoffen, "Lab-on-a-Chip"-Analytik, molekulares Computing, Genexpressionsanalyse. 35

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

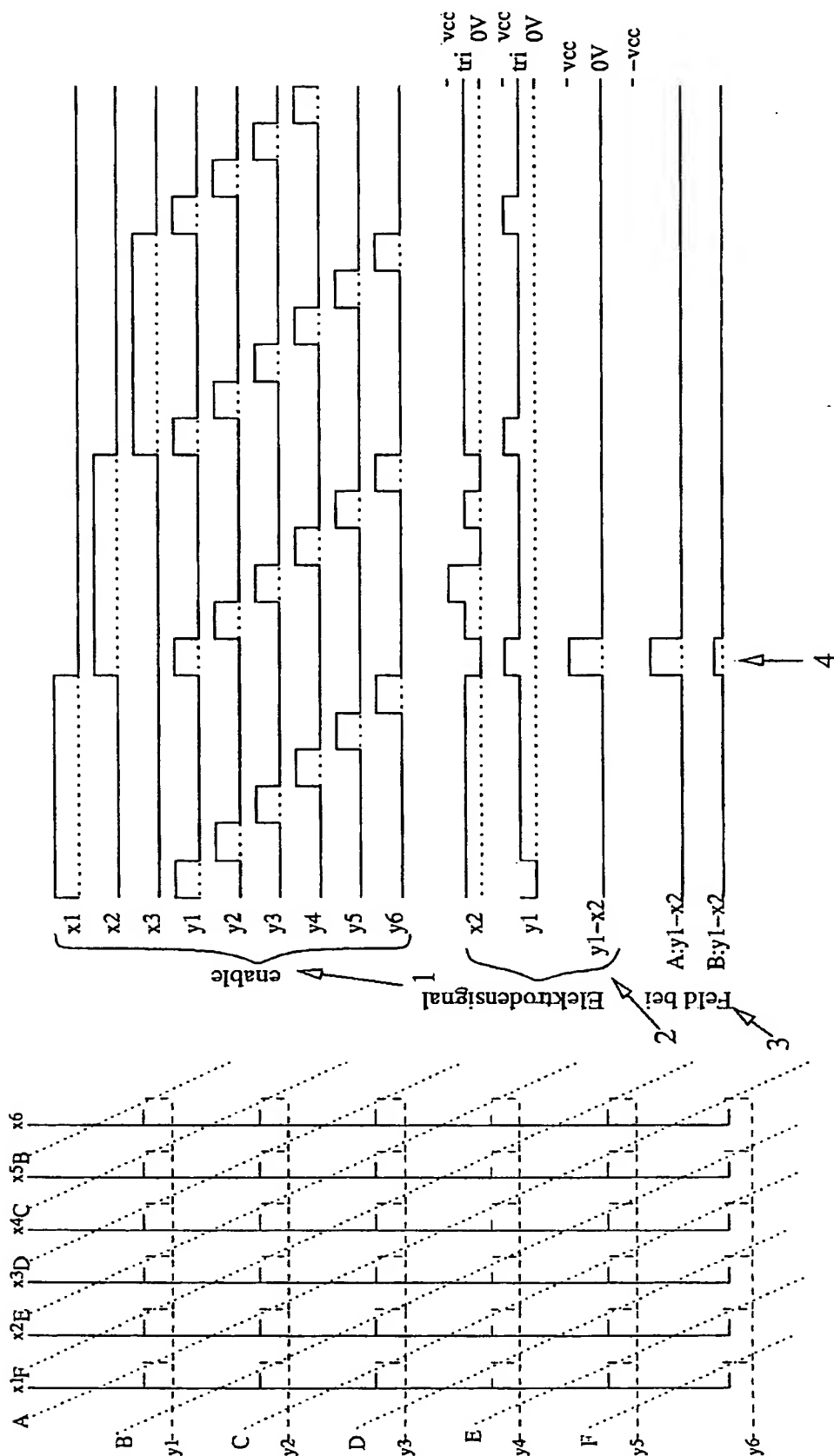


Fig.1

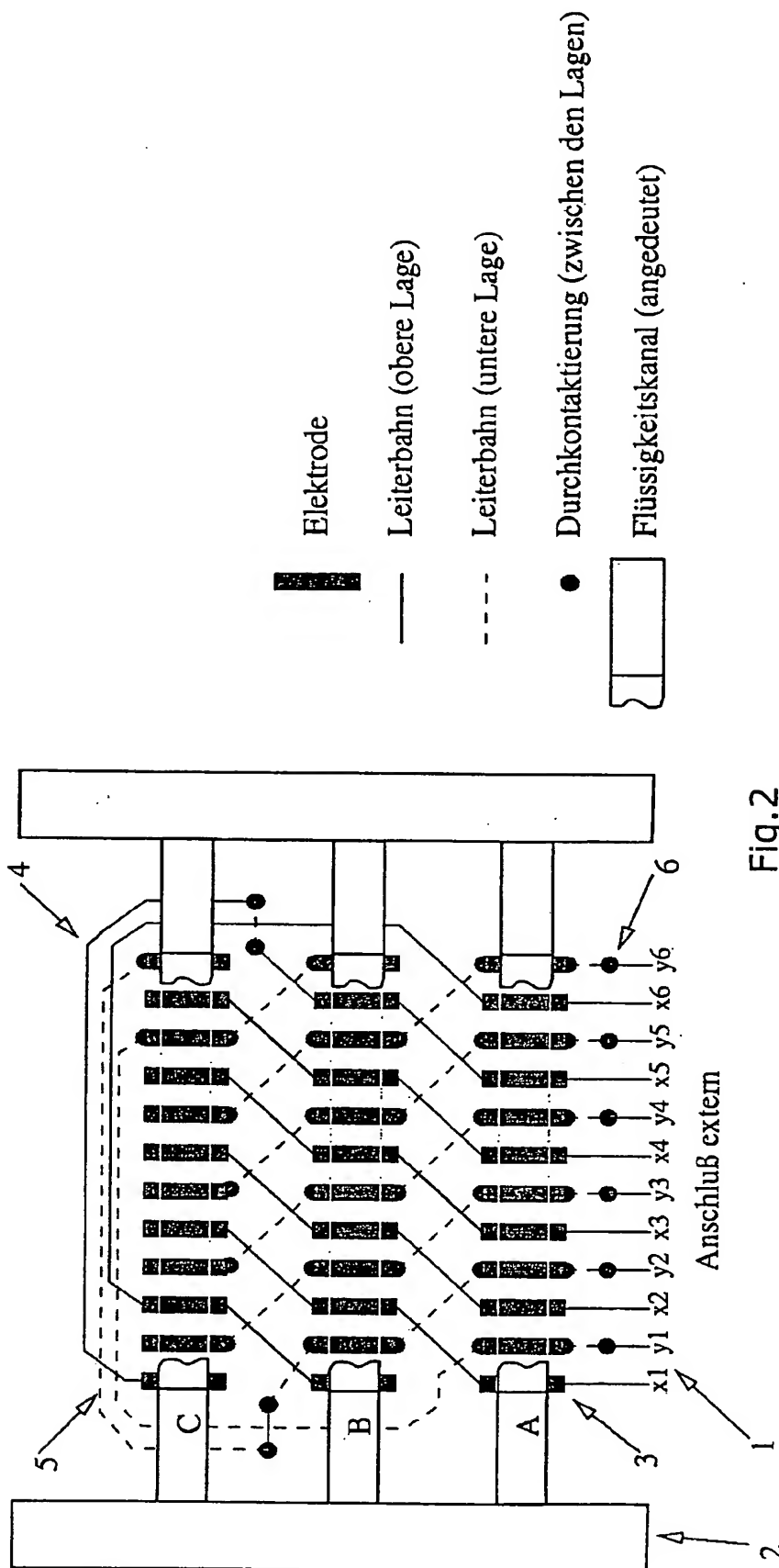
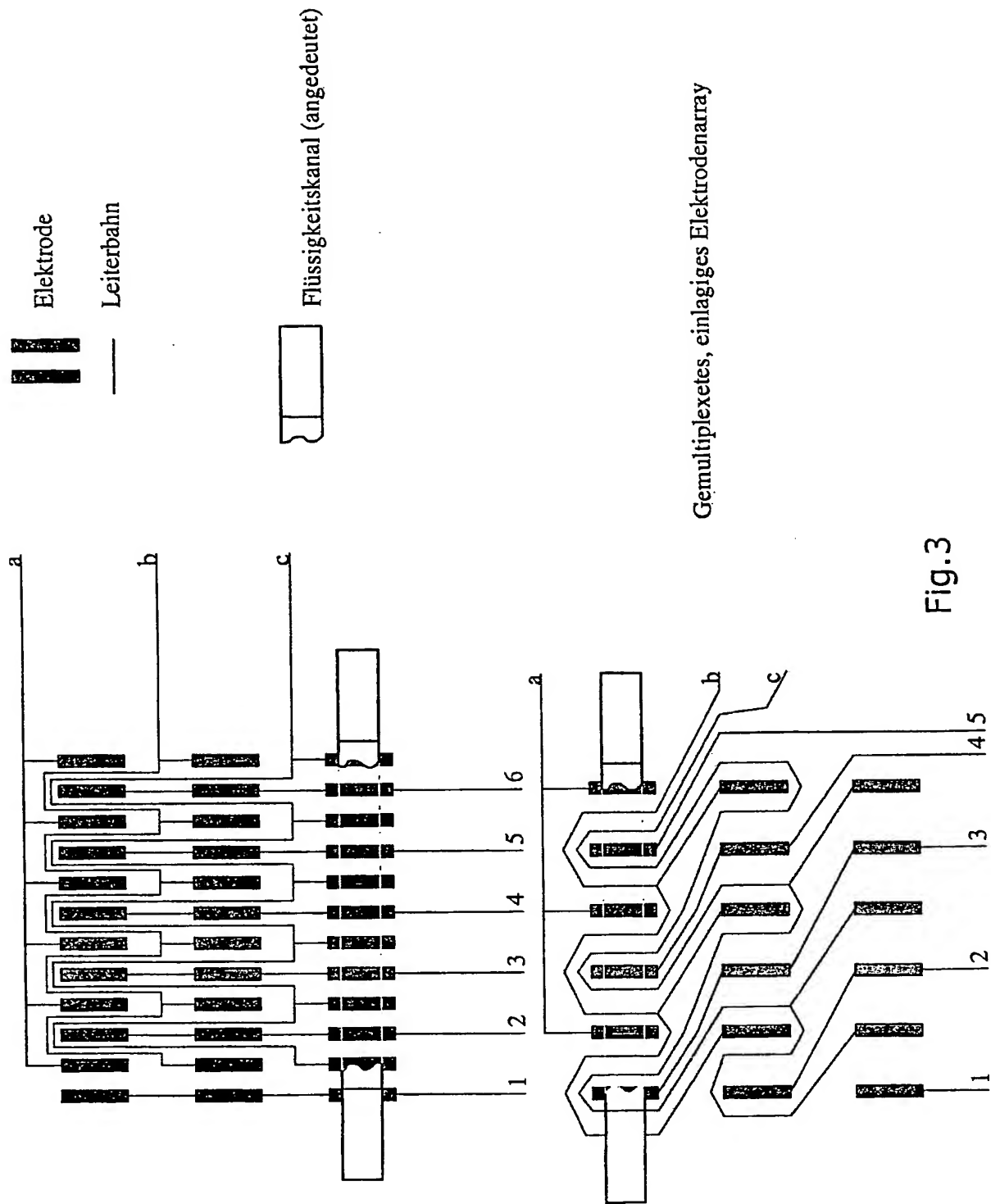


Fig.2





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**